نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و ششم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۱/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱ تا ۲۰

آثار سیاست پرداخت یارانه به سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در دو حالت تحویل حجمی و غیرحجمی در آبخوان نجف‌آباد

علی یوسفی[۱*]، مهدی مالکی‌زاده[۱]، علیرضا نیکویی[۲] و محمدصادق ابراهیمی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷)

چکیده

هدف این پژوهش، ارزیابی آثار سیاست پرداخت یارانه برای تبدیل شیوه آبیاری غرقابی به قطره‌ای در آبخوان نجف‌آباد با توجه به روش تحویل آب به کشاورز است. به‌منظور بررسی اثر مشوق‌های اقتصادی در تصمیم‌گیری کشاورز برای انتخاب نوع تکنولوژی آبیاری، الگوی کشت، آب کاربردی و آب مصرفی، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت در محدوده مطالعاتی دهستان گرکن شمالی به‌عنوان بخشی از آبخوان نجف‌آباد، توسعه داده شد. داده‌های مورد نیاز این مدل به سه شیوهٔ پیمایشی، استفاده از گزارش‌های ثبتی و نظرات خبرگان، جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که با کاهش هزینه‌های مالی تبدیل آبیاری غرقابی به قطره‌ای، کشاورزان تمایل به سرمایه‌گذاری در این فناوری دارند. در سناریوی تخصیص آب به شیوه فعلی، همگام با افزایش یارانه اجرای آبیاری تحت فشار، مجموع آب مصرفی محصولاتی که از سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده می‌کنند؛ ۲۸ درصد افزایش می‌یابد که ۱۹ درصد از این افزایش میزان آبی است که تا قبل از سیاست پرداخت یارانه‌ها مصرف نمی‌شده و مابقی آن مربوط به کاهش سطح کشت زمین‌های غرقابی است. بدین ترتیب با کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، درآمد خالص مزارع به‌دلیل بهبود عملکرد و توسعه سطح زیر کشت افزایش می‌یابد که خود باعث بالا رفتن میزان مصرف آب می‌شود، این در حالی است که میزان آب کاربردی ثابت است. در سناریوی تحویل حجمی آب، با افزایش یارانه‌ها، درآمد خالص مزارع بدون توسعه سطح زیر کشت و تنها به‌دلیل بهبود عملکرد، افزایش می‌یابد. بنابراین، تنها در شرایط تحویل حجمی آب، پرداخت یارانه باعث افزایش راندمان آبیاری هم در سطح مزرعه و هم در سطح منطقه می‌شود و به‌عنوان سیاستی به‌منظور مقابله با شرایط خشکسالی، اثربخش است.

واژه‌های کلیدی: یارانه، آبیاری قطره‌ای، آب مصرفی، آب کاربردی، تحویل حجمی آب، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت.

۱. گروه توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲. بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ayousefi@iut.ac.ir

مقدمه

افزایش کارایی آب از مهم‌ترین سیاست‌های مدیریت تقاضای آب در بخش کشاورزی است و توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار، اصلی‌ترین ابزار این سیاست برای مقابله با کم‌آبی است (۷ و ۱۹). دولت در برنامه‌های توسعه پنج‌ساله کشور مکلف شده به‌منظور مقابله با بحران کم‌آبی و ارتقای بهره وری آب، از جایگزینی سیستم‌های آبیاری نوین حمایت کند. در این روش آبیاری، با انتقال آب از طریق لوله، آبی از دسترس خارج نمی‌شود. همچنین، سیاست تغییر شیوه آبیاری به تحت فشار می‌تواند ابزاری برای کنترل آلودگی ناشی از آبیاری سطحی و همچنین کاهش مصرف آب باشد (۴ و ۲۵). اما، کشاورزانی که در سیستم‌های آبیاری با راندمان بالاتر سرمایه‌گذاری می‌کنند، ممکن است بر این باور باشند که حق‌آبه خود را به‌طور کامل استفاده نکرده‌اند و آب استفاده نشده را برای مصارف دیگر به‌کار ببرند (۲ و ۹). در واقع، تمرکز بر پرداخت یارانه و تغییر شیوه آبیاری، آثار واقعی افزایش راندمان آبیاری بر جریانات آب بازگشتی را پنهان می‌کند. این آثار می تواند شامل افزایش مصرف آب به‌دلیل بهبود راندمان آبیاری در مزرعه و کاهش آب بازگشتی باشد (۸ و ۱۱). به‌عبارتی، بخشی از آب تحویلی که قبلاً در کنترل کشاورز نبوده است؛ بیشتر به‌صورت رواناب به چرخه آب برمی‌گشته است. بنابراین، هر تغییری در این جریانات می‌تواند آثار جانبی منفی برای سایر استفاده‌کنندگان به‌ویژه در پایین‌دست رودخانه داشته باشد (۱۰). قوانین و سیاست‌های فعلی افزایش بهره‌وری آب با تمرکز بر تغییر شیوه آبیاری به تحت فشار و مقایسه آب تحویلی در مزرعه در دو شیوه آبیاری، توجهی به بستر مورد نیاز اجرای این سیاست و آثار جانبی محتمل اقتصادی و زیست‌محیطی آن (از جمله حذف جریانات بازگشتی به‌عنوان بخش مهمی از سیستم هیدرولوژیکی) ندارد (۱۱). برای نمونه، همزمان با افزایش تقاضا برای سرمایه‌گذاری در سیستم‌های آبیاری تحت فشار، امکان افزایش سطح زیر کشت و نیز مصرف آب وجود دارد (۱۸ و ۱۲). در واقع اثربخشی پرداخت یارانه بر کاهش آب تحویلی به این بستگی دارد که آیا بخش مصرف نشدهٔ آب تحویلی به‌صورت غیرقابل بازگشت از بین می‌رود و یا بخش مهمی از نیاز زیست‌محیطی و یا منابع آب سایر بهره‌برداران را تشکیل می‌دهد (۲۰). با این حال، بر اساس نتایج مطالعات انجام شده؛ سیاست پرداخت یارانه به‌منظور صرفه‌جویی در آب، بعید است باعث صرفه‌جویی واقعی در آب شود. درنهایت، این سیاست می‌تواند با قوانین آب و راهبردهای امنیت غذایی در تضاد باشد و آثار منفی قابل توجهی بر درآمد و دارایی کشاورز برجای گذارد (۲۱).

سیاست پرداخت یارانه برای اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار می‌تواند سبب پذیرش بیشتر تکنولوژی‌های صرفه جویی در سطح مزرعه، کاهش آب به‌کار برده شده و افزایش آب مصرفیِ محصولات کشاورزی، افزایش درآمد مزرعه، تولید محصول بیشتر، افزایش سطح زیر کشت و افزایش کل مصرف آب در کل حوضه شود که همگی مرتبط با افزایش منافع اقتصادی در یک مزرعه است (۳). میزان صرفه‌جویی آب ناشی از پرداخت یارانه به کشاورزان می‌تواند یک پیامد غیرمنتظره داشته باشد که با ترویج آبیاری قطره‌ای، تقاضای آب مصرفی برای محصولات کشاورزی افزایش یابد (۵). به‌ویژه این تأثیر در شرایط خشکسالی که آب در دسترس کشاورز کاهش می‌یابد، می‌تواند باعث جبران آثار کمبود آب بر درآمد و تولید کشاورز شود، اما موجب افزایش آب مصرفی محصولات می‌شود (۲۳).

از طرفی، وجوه پرداختی از اعتبارت عمومی کشور جهت توسعه آبیاری قطره‌ای دارای هزینه فرصت است. زیرا، برای این منابع به‌طور معمول استفاده جایگزین وجود دارد. بنابراین، برنامه پرداخت یارانه به سیستم‌های نوین آبیاری می‌تواند به سیاستی پرهزینه برای انتقال درآمد به کشاورزان و جوامع روستایی بدل شود (۲۴). از طرفی، درصورتی که پیامدهای اقتصادی ناشی از به‌کارگیری سیستم‌های آبیاری مدرن نظیر بارانی کمتر از میزان مورد انتظار کشاورز باشد و سیستم آبیاری با شرایط مزرعه تناسب نداشته باشد، امکان رهاسازی فناوری نوین آبیاری و بازگشت به آبیاری سطحی بسیار زیاد است

(۱۶)؛ که این موجب هدررفت منابع عمومی کشور می‌شود.

همانگونه که اشاره شد، برخی برنامه‌های پرداخت یارانه به سیستم‌های نوین آبیاری به احتمال زیاد به کاهش منابع آب در دسترس برای مصارف پایین‌دست و محیط‌زیست منجر می‌شود و به‌نظر می‌رسد قوانین موجود در این زمینه نه تنها با یکدیگر در تعارض هستند؛ بلکه نتایج مطالعات تجربی در زمینه تأثیر پرداخت یارانه به سیستم‌های نوین آبیاری نیز آن را تأیید نمی کند (۱۴). در حال حاضر، تحویل آب در بخش کشاورزی به شکل غیرحجمی صورت می‌پذیرد. تحویل حجمی با این مفهوم که هر بهره‌بردار با توجه به میزان آبی که به او تخصیص یافته است، برداشت دارد و غیرحجمی بیانگر میزان برداشت غیر مشخص آب است. این مطالعه به‌دنبال ارزیابی تأثیر سیاست‌های تشویقی پرداخت یارانه بر آب مصرفی و تحویلی، سطح زیر کشت و ارزش محصولات تولیدی و هزینه نهاده‌های مصرفی در شرایط موجود تخصیص آب و روش تحویل حجمی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

آبخوان نجف‌آباد با مساحتی برابر با ۱۱۴۳ کیلومترمربع بخشی از حوضه زاینده‌رود در فلات مرکزی ایران است. میانگین بارش سالانه در سطح حوضه ۱۵۸ میلی‌متر و تبخیر و تعریق پتانسیل بالغ بر ۱۵۰۰ میلی‌متر است. این آبخوان به دو بخش عمده دره نجف‌آباد و محدودهٔ لنجان سفلی تقسیم‌بندی می‌شود. محدوده دره نجف‌آباد که بخش مرکزی و غربی حوضه را در بردارد، با توجه به کمبود تغذیه آبخوان، فقیر است. در محدوده لنجان سفلی با توجه تغذیه سفره از طرف رودخانه و جریان برگشتی آب کشاورزی، آبخوان دارای وضعیت مناسبی است. مهم‌ترین منبع تأمین آب سطحی منطقه رودخانه زاینده‌رود است که به‌طول ۳۶ کیلومتر از آن عبور می کند. دریافت آب از رودخانه به‌طور غیرمستقیم و از طریق شبکه نکوآباد صورت می‌پذیرد. با تکمیل سد زاینده‌رود در سال ۱۳۴۹ و احداث بند انحرافی نکوآباد به‌منظور تنظیم آب تأمین شده برای شبکه‌های آبیاری واقع در ساحل راست و چپ رودخانه، سیستم‌های آبیاری سطحی مدرن در منطقه توسعه یافته‌اند (۶). جدول (۱) مشخصات شبکه نکوآباد را نشان می‌دهد.

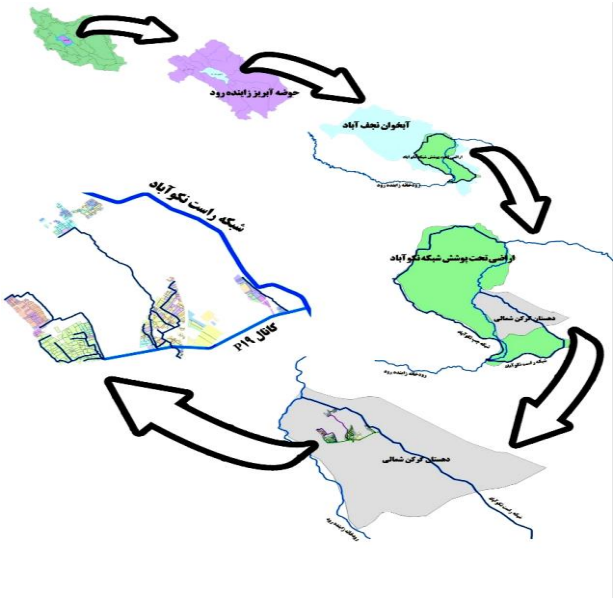
به‌دلیل نبود نقشه‌های کاداستر، امکان مشخص کردن ابعاد دقیق سطح زیر کشت و همچنین الگوی کشت محصولات در تمام آبخوان نجف‌آباد وجود نداشت. همچنین امکان اندازه‌گیری دقیق میزان آب سطحی و زیرزمینی برداشتی نیز وجود نداشت. به‌همین دلیل به‌منظور انجام این تحقیق اراضی تحت پوشش کانال P19 که یکی از کانال‌های فرعی شبکه راست نکوآباد است، انتخاب شد. این کانال در دهستان گرکن شمالی از بخش پیربکرانِ شهرستانِ فلاورجان در استان اصفهان است. انتخاب اراضی تحت پوشش یک کانال درجه دو، امکان اندازه‌گیری سطح زیر کشت و الگوی کشت با جزئیات دقیق را فراهم می‌کرد (شکل ۱).

بنابراین، امکان بررسی میزان آب سطحی ورودی به این اراضی و وضعیت دقیق چاه‌ها مهیا شد. کانال P19 با طول ۲/۶ کیلومتر، دارای ۹ دریچه است که دو دریچه آن غیرفعال است. هر دریچه قسمتی و یا همهٔ اراضی یک روستا را تحت پوشش قرار می‌دهد و منبع تأمین‌کننده آب سطحی روستاهای آب نیل، سیاه افشار، دستنا، باغکومه، سهلوان و حبیب‌آباد است.

به‌منظور نیل به اهداف پژوهش، بهره‌بردارانی که اراضی آنها تحت پوشش کانال P19 از شبکه راست نکوآباد بود به‌عنوان جامعه آماری این پژوهش انتخاب شدند. برای گردآوری داده های اقتصادی و هیدرولوژیکی، بهره‌برداران کانال P19 سرشماری شدند. عمده داده‌های ورودی به مدل بر اساس تحقیق پیمایشی بود و با استفاده از پرسشنامه ساخت‌یافته با حضور در منطقه مورد مطالعه و پرسش از کشاورزان، بهره‌برداران و کارشناسان جهاد کشاورزی جمع‌آوری شد. این داده‌ها و سایر اطلاعات مورد نیاز برای استفاده در مدل، در

جدول ۱. مشخصات شبکه مدرن نکوآباد

نام شبکه	اراضی تحت پوشش (ha)	دبی (m^3/sec)	طول کانال اصلی (km)	طول کانال فرعی (km)
راست نکوآباد	۱۳۵۰۰	۱۳	۳۵ /۵	۴۵
چپ نکوآباد	۴۸۰۰۰	۴۵	۵۹ /۴	۷۶ /۶



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

دو گروه داده‌های اقتصادی و هیدرولوژیکی قابل تقسیم هستند.

داده‌های اقتصادی

برای محاسبهٔ منافع آب در بخش کشاورزی نیاز به داده‌های مربوط بودجه‌بندی مزرعه است که این داده‌ها شامل اراضی قابل کشت، سطح زیر کشت، الگوی کشت باغی و زراعی، عملکرد محصول و هزینه تولید و قیمت محصول است (۱۳ و ۲۲). به‌منظور مشخص کردن اراضی قابل کشت، سطح زیر کشت و الگوی کشت، پس از تهیه نقشهٔ منطقه؛ از هر کشاورز خواسته شد که محدوده مزرعه خود را روی نقشه مشخص کرده و الگوی کشت اول و دوم خود را بیان کنند. سپس در نرم‌افزار Google Earth این محدوده‌ها مشخص و نام‌گذاری شده و به نرم‌افزار ArcGIS منتقل شد تا مساحت اراضی محاسبه شود.

داده‌های هیدرولوژیکی

داده‌های هیدرولوژیکی جمع‌آوری شده شامل میزان آب تحویلی از طریق کانال P19 و دریچه‌ها به کشاورزان بود که این داده‌ها به تفکیک میزان آب تحویلی و با جزئیات زمانی روزانه و ماهانه و در طول فصل زراعی ۹۴-۹۳، از شرکت بهره‌برداری میراب زاینده‌رود اخذ شد (۱۷). دیگر داده‌های جمع‌آوری شده شامل داده‌های مربوط به تعداد، دور و مدت زمان آبیاری برای محصولات مختلف بود که از کشاورزان گردآوری شد. میزان آب مصرفی گیاه به‌واسطه تبخیر و تعرق نیز از سند ملی آب استخراج شد و میزان آب کاربردی با استفاده از میزان آب مصرفی و راندمان آبیاری محاسبه شد (۱).

شرح مدل

روش قیاسی مورد استفاده مبتنی بر ارزش‌گذاری تجربی است

که هاویت (Howitt) (۱۹۹۵) آن را برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) معرفی کرد. این روش به‌طور گسترده در مطالعات به کار برده می‌شود و یکی از روش‌های متداول در ارزش‌گذاری آب آبیاری است. روش مورد استفاده در این مطالعه بر اساس روش دگنینو و وارد (Dagnino and Ward) (۲۰۱۲) است (۵). یکی از فرضیات کلیدی در استفاده از این روش این است که یک کشاورز با به‌کار بردن کل اطلاعات موجود در اختیارش گزینه‌های بهینه تولید را انتخاب می‌کند تا سود را بیشینه کند. فرض دیگر آن است که عملکرد مشاهده شده محصول، بهترین عملکرد ممکن در شرایط موجود است.

بحث اصلی برای ساختن مدل، افزایش اطمینان به آنها با اجتناب از تفاوت بین موقعیت پایهٔ فعلی و موقعیت پایهٔ شبیه‌سازی و نیز بازسازی رفتار کشاورزان است. به‌عبارتی، مدل‌های برنامه‌ریزی تولید مزرعه و استفاده از منابع (آب و زمین) باید با شرایط در سال پایه هماهنگ باشند تا بتوانند شرایط موجود را شبیه‌سازی کنند. تحلیل سیاست مبتنی بر مدلی که نتواند شرایط پایه را بازتولید کند و به‌عبارتی بین نتایج مدل در دوره پایه و نتایج واقعی اختلاف باشد، فاقد اعتبار است. استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) به ما اجازه می‌دهد تا بر اساس داده‌های مشاهده شده در سطح مزرعه، واکنش‌های رفتاری کشاورز نسبت به تغییر سیاست را پیش‌بینی کنیم. در این روش، با استفاده از بهینه‌سازی غیرمقیدِ داده‌های مشاهده شده، سود حداکثرسازی می‌شود و سپس پارامترهای تابع درجه دوم، برآورد و تعیین می‌شود و شرایط پایه (موجود) بازتولید می‌شود. برای مشخص شدن مقدار آب مصرفی و آب کاربردی در سناریوهای مختلف از این مدل بهره گرفته شد. داده‌های هزینه و درآمد محصول، مصرف آب و سطوح زیر کشت برای تولیدات عمده منطقه شامل، گندم، جو، سیب‌زمینی، تربچه، شاهی، ریحان، پیاز، خیار، فلفل، به و هلو جمع‌آوری شد. با استفاده از مدل، پارامترهای مورد نیاز برای تابع عملکرد محصول که باز تولید کننده رفتار مشاهده شده کشاورز برای هر محصول و هر تکنولوژی آبیاری است، برآورد شد. سناریوهای مورد بررسی شامل سه دسته بوده است:

- ارزیابی سیاست پرداخت یارانه به سیستم‌های نوین آبیاری به‌صورت کمک بلاعوض دولت در قالب میزان تخصیص این یارانه‌ها در پنج سناریوی تأمین مالی ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد از هزینهٔ سرمایهٔ مورد نیاز برای نصب و راه‌اندازی سیستم آبیاری قطره‌ای؛
- سناریوهای عرضه آب مبتنی بر شرایط نرمال و خشکسالی که در سناریوی خشکسالی منابع آب به ۸۰ درصد سطح نرمال محدود شده است؛
- سناریوهای نحوه تخصیص آب که مبتنی بر دو سناریوی شرایط فعلی تخصیص آب و تخصیص آب به‌صورت تحویل حجمی است.

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد جزئیات مدل و مراحل کالیبراسیون آن به پیوست (۱) مراجعه شود.

یافته‌های تحقیق

الگوی کشت منطقه مورد مطالعه شامل سیفی‌جات (۳۷ درصد)، غلات (۳۵ درصد)، سبزیجات (۱۶ درصد) و باغ (۹ درصد) بوده است. به‌جز غلات، روش آبیاری ۱۷ (باغات) تا ۲۶ (سبزیجات) درصد اراضی کشاورزی، آبیاری قطره‌ای است. پس از گندم، بیشترین سطح زیر کشت به پیاز اختصاص داشته است. در مدل تدوین شده کشت غلات با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای امکان‌پذیر نبوده است و در تخصیص آب، حفظ باغات در اولویت بوده است.

از مقایسه سطح زیر کشت در سناریوی عدم پرداخت یارانه و تحت سناریوی عرضه نرمال آب چنین برمی‌آید که مدل به‌خوبی توانسته شرایط پایه و رفتار کشاورز را شبیه‌سازی کند. همچنین می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که مدل به‌منظور ارزیابی سیاست پرداخت یارانه به سیستم‌های نوین آبیاری و تحت سناریوهای عرضهٔ آب نرمال و خشک و با توجه به نظام تخصیص آب می‌تواند به‌خوبی عمل کرده و رفتار کشاورز را تحت این سناریوها پیش‌بینی کند.

بر اساس جدول ۲ همهٔ محصولات به‌صورت یکسان تحت تأثیر افزایش یارانهٔ آبیاری قطره‌ای قرار نگرفته‌اند. کل سطوح زیر کشت تحت شرایط پایه‌ای، یعنی مقدار واقعی آبیاری برای این محصولات تحت سناریوی بدون پرداخت یارانه و سناریوی عرضهٔ نرمال، ۹۸ جریب است. در حال حاضر بدون وجود یارانهٔ آبیاری قطره‌ای، زمین‌های فعال در منطقه به‌شدت متکی بر فناوری آبیاری غرقابی است.

با افزایش یارانه‌ها زمین‌های تحت آبیاری غرقابی کاهش و زمین‌های تحت آبیاری قطره‌ای افزایش یافته‌اند. همچنین با افزایش یارانه آبیاری قطره‌ای به ۱۰۰ درصد، زمین‌های زیر کشتِ محصولات غرقابی به‌میزان ۱/۷ درصد کاهش می‌یابد و زمین‌های زیر کشت محصولات با تکنولوژی آبیاری قطره‌ای در سناریوی عرضهٔ آب نرمال، ۲۷ درصد افزایش یافته است.

بنابراین، اگر در آینده یارانه‌های آبیاری قطره‌ای افزایش یابد، مقدار زمین‌هایی که از ابتدا تحت آبیاری غرقابی بوده کاهش می‌یابد تا زمین‌های تحت آبیاری قطره‌ای افزایش یابد و علت آن این است که با افزایش یارانه‌ها، سود کشت محصولات با آبیاری قطره‌ای بیشتر از سود همان کشت با آبیاری غرقابی است.

با این حال، بررسی میزان تغییراتِ مجموع سطح زیر کشت محصولات نشان می‌دهد با بهره‌گیری از فناوری آبیاری قطره‌ای سطح زیر کشت به‌غایت افزایش یافته است. درواقع همزمان با افزایش یارانه‌ها، زمین‌های جدیدی زیر کشت رفته‌اند. همچنین، در حالت تحویل حجمی آب، با افزایش یارانه آبیاری قطره‌ای به ۱۰۰ درصد، زمین‌های زیر کشتِ محصولات غرقابی به میزان ۵/۴ درصد کاهش می‌یابد و زمین‌های زیر کشت محصولات با تکنولوژی آبیاری قطره‌ای در سناریوی عرضهٔ آب نرمال، ۲۳ درصد افزایش یافته است.

آب کاربردی و آب مصرفی

تحت نظام موجود تخصیص آب، کران بالا بر آب کاربردی وجود دارد. در این نظام تخصیص، آب فارغ از توجه به الگوی کشت، نوع محصول، تبخیر و تعرق، راندمان آبیاری و نوع سیستم آبیاری تخصیص می‌یابد. جدول ۳ کاربرد آب در محصولات مختلف، سناریوهای یارانهٔ آبیاری و عرضه آب را نشان می‌دهد. کل آب کاربردی برای مقادیر مختلف یارانه، به‌میزان ۱۹۸/۲ هزار مترمکعب، ثابت است. زیرا، در این نظام تخصیص هدف محدود کردن آب کاربردی و نه آب مصرفی است.

با افزایش یارانه‌ها، مجموع آب مصرفی محصولاتی که از سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده می‌کنند از ۹/۹ هزار مترمکعب تحت سناریوی عدم پرداخت یارانه و سناریوی عرضه نرمال آب، به ۱۲/۷ هزار مترمکعب تحت سناریوی پرداخت یارانهٔ صددرصدی افزایش می‌یابد (جدول ۴). قسمتی از این افزایش مصرف ناشی از افزایش یارانه‌ها، با کاهش مصرف ناشی از کاهش زمین‌های غرقابی جبران می‌شود، به‌گونه‌ای که مجموع آب مصرفی محصولات غرقابی از ۴۸/۰۶ به ۴۷/۲ هزار مترمکعب کاهش می‌یابد؛ اما، ۱/۹ هزار مترمکعب از این افزایش، میزان آب مصرفی است که تا قبل از سیاست پرداخت یارانه‌ها مصرف نمی‌شده است. کاهش ۳/۱ هزار مترمکعبی مجموع آب کاربردی محصولات با تکنولوژی آبیاری غرقابی، از سناریوی عدم پرداخت یارانه به سناریوی پرداخت یارانهٔ صددرصدی، کاملاً به‌وسیلهٔ محصولات با تکنولوژی آبیاری قطره‌ای مورد استفاده قرارگرفته است. بنابراین در منطقهٔ مورد مطالعه میزان کل آب کاربردی محصولات در سناریوهای مختلف پرداخت یارانه به میزان ۱۹۸/۲ هزار مترمکعب ثابت بوده است. ولی میزان آب مصرفی محصولات از ۵۸/۰۲ هزار مترمکعب تحت سناریوی عدم پرداخت یارانه به ۶۰ هزار مترمکعب تحت سناریوی یارانهٔ صددرصدی و سناریوی عرضهٔ نرمال آب افزایش یافته است.

این نتیجه حکایت از آن دارد که در نظام موجود تخصیص آب، با افزایش یارانهٔ سیستم آبیاری قطره‌ای، راندمان آب در سطح مزرعه افزایش می‌یابد؛ اما راندمان آب در سطح منطقهٔ مورد مطالعه کاهش یافته است. در شرایط خشکسالی، یعنی شرایطی که در آن میزان آب کاربردی به ۸۰ درصد شرایط نرمال

جدول۲. مقایسه میزان سطح زیرکشت محصولات در دو روش تخصیص آب به روش حجمی و غیر حجمی (تجربی)

تکنولوژی آبیاری	سناریو	غیر حجمی				حجمی				تغییرات سطح زیرکشت			
		پرداخت یارانه (درصد)											
		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
غرقابی	نرمال	۸۵/۲۱	۸۴/۸۱	۸۴/۴۱	۸۴/۰۱	۸۳/۶۱	۸۵/۲۱	۸۴/۰۵	۸۲/۹۰	۸۱/۷۵	۸۰/۵۹	۰	۰/۹۰	۱/۷۹	۲/۶۹	۳/۶۱
		۰	-۰/۴۷	-۰/۹۴	-۱/۴۰	-۱/۸۷	۰	-۱/۳۵	-۲/۷۱	-۴/۰۶	-۵/۴۱					
	خشکی	۶۶/۰۹	۶۵/۶۹	۶۵/۲۹	۶۴/۹۰	۶۴/۵۰	۶۶/۷۶	۶۵/۶۰	۶۴/۴۵	۶۳/۳۰	۶۲/۱۴	-۱/۰۱	۰/۱۴	۱/۲۹	۲/۴۷	۳/۶۶
		۰	-۰/۶۰	-۱/۲۱	-۱/۸۱	-۲/۴۱	۰	-۱/۱۵	-۲/۳۱	-۳/۴۶	-۴/۶۱					
قطره ای	نرمال	۱۲/۶۷	۱۳/۵۴	۱۴/۴۱	۱۵/۲۸	۱۶/۱۵	۱۲/۶۷	۱۳/۴۰	۱۴/۱۴	۱۴/۸۷	۱۵/۶۰	۰	۱/۰۳	۱/۸۷	۲/۶۸	۳/۴۱
		۰	۶/۸۷	۱۳/۷۳	۲۰/۶۰	۲۷/۴۶	۰	۵/۷۶	۱۱/۵۳	۱۷/۲۹	۲۳/۰۵					
	خشکی	۱۱/۹۶	۱۲/۸۳	۱۳/۷۰	۱۴/۵۷	۱۵/۴۴	۱۰/۳۹	۱۱/۱۲	۱۱/۸۵	۱۲/۵۸	۱۳/۳۱	۱۳/۱۳	۱۳/۳۳	۱۳/۵۰	۱۳/۶۶	۱۳/۸۰
		۰	۷/۲۸	۱۴/۵۵	۲۱/۸۳	۲۹/۱۰	۰	۷/۰۳	۱۴/۰۶	۲۱/۰۹	۲۸/۱۲					
کل سطح زیر کشت	نرمال	۹۷/۸۸	۹۸/۳۵	۹۸/۸۲	۹۹/۳۰	۹۹/۷۷	۹۷/۸۸	۹۷/۴۶	۹۷/۰۴	۹۶/۶۱	۹۶/۱۹	۰	۰/۹۰	۱/۸۰	۲/۷۱	۳/۵۹
		۰	۰/۴۸	۰/۹۶	۱/۴۵	۱/۹۳	۰	-۰/۴۳	-۰/۸۶	-۱/۳۰	-۱/۷۳					
	خشکی	۷۸/۰۵	۷۸/۵۲	۷۸/۹۹	۷۹/۴۷	۷۹/۹۴	۷۷/۱۵	۷۶/۷۳	۷۶/۳۰	۷۵/۸۸	۷۵/۴۶	۱/۱۵	۲/۲۸	۳/۴۱	۴/۵۲	۵/۶۰
		۰	۰/۶۰	۱/۲۱	۱/۸۱	۲/۴۲	۰	-۰/۵۵	-۱/۱۰	-۱/۶۴	-۲/۱۹					

جدول۳. مقایسه میزان آب کاربردی محصولات در دو روش تخصیص آب به روش حجمی و غیر حجمی (متر مکعب)

تکنولوژی آبیاری	سناریو	غیر حجمی					حجمی					تغییرات آب کاربردی				
		پرداخت یارانه (درصد)														
		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
غرقابی	نرمال	۱۷۸۷۹۳	۱۸۶۴۱۶	۱۸۵۶۴۰	۱۸۴۸۶۳	۱۸۴۰۸۷	۱۸۷۱۹۳	۱۸۵۰۲۰	۱۸۲۸۴۸	۱۸۰۶۷۵	۱۷۸۵۰۲	-۲/۹۶	-۰/۴۱	۰/۳۳	۱/۰۸	۱/۸۵
	خشک	۱۴۸۱۸۴	۱۴۷۴۰۸	۱۴۶۳۱	۱۴۵۸۵۵	۱۴۵۰۷۸	۱۵۰۵۵۵	۱۴۸۳۸۳	۱۴۶۲۱۰	۱۴۴۰۳۷	۱۴۱۸۶۵	۲/۰۹	-۲/۱۳	-۱/۱۹	-۰/۲۴	۰/۷۱
قطره ای	نرمال	۱۱۰۶۳	۱۱۸۳۹	۱۲۶۱۶	۱۳۳۹۳	۱۴۱۶۹	۱۱۰۶۳	۱۱۷۱۴	۱۲۳۶۵	۱۳۰۱۶	۱۳۶۶۶	-۲۸/۰۷	۶/۵۵	۷/۱۴	۷/۶۷	۸/۱۳
	خشک	۱۰۴۲۰	۱۱۱۹۷	۱۱۹۷۳	۱۲۷۵۰	۱۳۵۲۷	۹۰۱۰	۹۶۶۱	۱۰۳۱۱	۱۰۹۶۲	۱۱۶۱۳	-۲۹/۸۱	۱۹/۵۳	۱۹/۳۱	۱۹/۱۲	۱۸/۹۶
کل آب کاربردی	نرمال	۱۹۸۲۵۶	۱۹۸۲۵۶	۱۹۸۲۵۶	۱۹۸۲۵۶	۱۹۸۲۵۶	۱۹۸۲۵۶	۱۹۶۷۳۴	۱۹۵۲۱۲	۱۹۳۶۹۰	۱۹۲۱۶۹	۰	۰	۰/۷۶	۱/۵۳	۲/۳۰
	خشک	۱۵۸۶۰۵	۱۵۸۶۰۵	۱۵۸۶۰۵	۱۵۸۶۰۵	۱۵۸۶۰۵	۱۵۹۵۶۵	۱۵۸۰۴۳	۱۵۶۵۲۱	۱۵۵۰۰۰	۱۵۳۴۷۸	۰	-۰/۶۰	۰/۳۵	۱/۳۱	۲/۲۷

جدول۴. مقایسه میزان آب مصرفی محصولات در دو روش تخصیص آب به روش حجمی و غیر حجمی (متر مکعب)

تکنولوژی آبیاری	سناریو	غیر حجمی					حجمی					تغییرات آب مصرفی		
		پرداخت یارانه (درصد)												
		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
غرقابی	نرمال	۴۸۰۶۸	۴۷۸۶۵	۴۷۸۶۵	۴۷۴۵۸	۴۷۲۵۴	۴۸۰۶۸	۴۷۴۸۲	۴۶۸۹۶	۴۶۳۱۱	۴۵۷۲۵	۰	۰/۸۰	۲/۰۲	۲/۴۱	۳/۲۳
		۰	-۰/۴۲	-۰/۸۵	-۱/۲۷	-۱/۶۹	۰	-۱/۲۲	-۲/۴۴	-۳/۶۶	-۴/۸۷					
	خشک	۳۷۹۳۵	۳۷۷۳۲	۳۷۵۲۸	۳۷۳۲۵	۳۷۱۲۲	۳۸۳۱۱	۳۷۷۲۵	۳۷۱۳۹	۳۶۵۵۳	۳۵۹۶۸	-۰/۹۹	۰/۰۱	۱/۰۳	۲/۰۶	۳/۱۰
		۰	-۰/۵۴	-۱/۰۷	-۱/۶۱	-۲/۱۴	۰	-۱/۵۳	-۳/۰۶	-۴/۵۹	-۶/۱۲					
قطره ای	نرمال	۹۹۵۷	۱۰۶۵۵	۱۱۳۵۴	۱۲۰۵۳	۱۲۷۵۲	۹۹۵۷	۱۰۵۴۲	۱۱۱۲۸	۱۱۷۱۴	۱۲۳۰۰	۰	۱/۰۶	۱/۹۹	۲/۸۱	۳/۵۴
		۰	۷/۰۲	۱۴/۰۴	۲۱/۰۶	۲۸/۰۸	۰	۵/۸۸	۱۱/۷۷	۱۷/۶۵	۲۳/۵۳					
	خشک	۹۳۷۸	۱۰۰۷۷	۱۰۷۷۶	۱۱۴۷۵	۱۲۱۷۴	۸۱۰۹	۸۶۹۵	۹۲۸۰	۹۸۶۶	۱۰۴۵۲	۱۳/۵۳	۱۳/۷۱	۱۳/۸۸	۱۴/۰۲	۱۴/۱۴
		۰	۷/۴۵	۱۴/۹۱	۲۲/۳۶	۲۹/۸۱	۰	۷/۲۲	۱۴/۴۵	۲۱/۶۷	۲۸/۹۰					
کل آب مصرفی	نرمال	۵۸۰۲۵	۵۸۲۰	۵۹۰۱۶	۵۹۵۱۱	۶۰۰۰۷	۵۸۰۲۵	۵۸۰۲۵	۵۸۰۲۵	۵۸۰۲۵	۵۸۰۲۵	۰	۰/۸۴	۱/۶۷	۲/۴۹	۳/۳۰
		۰	۰/۸۵	۱/۷۱	۲/۵۶	۳/۴۲	۰	۰	۰	۰	۰					
	خشک	۴۷۳۱۴	۴۷۸۰۹	۴۸۳۰۵	۴۸۸۰۰	۴۹۲۹۶	۴۶۴۲۰	۴۶۴۲۰	۴۶۴۲۰	۴۶۴۲۰	۴۶۴۲۰	۱/۸۸	۲/۹۰	۳/۹۰	۴/۸۷	۵/۸۳
		۰	۱/۰۵	۲/۰۹	۳/۱۴	۴/۱۹	۰	۰	۰	۰	۰					

کاهش یافته و به ۱۵۸/۶ هزار مترمکعب رسیده است، همچنان میزان آب کاربردی تحت سناریوهای مختلف پرداخت یارانه ثابت است. اما میزان کل آب مصرفی تحت سناریوی خشکسالی، از ۴۷/۳ هزار مترمکعب در شرایط عدم پرداخت یارانه به ۴۹/۲ هزار مترمکعب تحت سناریوی پرداخت صد درصد یارانه رسیده است. این افزایش حدود ۲ هزار مترمکعبی، دقیقاً مشابه افزایش میزان مصرف آب در شرایط عرضهٔ نرمال آب است. پس تحت نظام موجود تخصیص آب، در شرایط خشکسالی پرداخت مشوق‌های یارانه‌ای برای تغییر تکنولوژی آبیاری، مصرف آب را کاهش نداده و راندمان آب در کل منطقه نه تنها افزایش نمی‌یابد؛ بلکه کاهش پیدا می‌کند. در حالت تحویل حجمی، با افزایش یارانه‌ها، مجموع آب مصرفی محصولاتی که از سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده می‌کنند از ۹/۹ هزار مترمکعب تحت سناریوی عدم پرداخت یارانه و سناریوی عرضه نرمال آب، به ۱۲/۳ هزار مترمکعب تحت سناریوی پرداخت یارانهٔ صددرصدی افزایش یافته است. این افزایش مصرف (۲/۳ هزار مترمکعب) ناشی از افزایش یارانه‌ها است که دقیقاً با کاهش مصرف ناشی از کاهش زمین‌های غرقابی جبران می‌شود؛ به‌گونه‌ای که مجموع آب مصرفی محصولاتِ غرقابی از ۴۸ به ۴۵/۷ هزار مترمکعب کاهش می‌یابد. نگاهی به نتایج مؤید این موضوع است که تنها بخشی از کاهش ۸/۷ هزار مترمکعبی مجموع آب کاربردی محصولات با تکنولوژی آبیاری غرقابی، از سناریوی عدم پرداخت یارانه به سناریوی پرداخت یارانهٔ صددرصدی، با افزایش ۲/۶ هزار مترمکعبی مجموع آب کاربردی محصولات با تکنولوژی آبیاری قطره‌ای مورد استفاده قرارگرفته است. درواقع در نظام تخصیص حجمی آب، راندمان بالاتر آبیاری قطره‌ای نسبت به غرقابی، توانسته در آب کاربردی به میزان ۶/۱ هزار مترمکعب صرفه‌جویی کند.

درآمد مزرعه

مزایای حاصل از پرداخت یارانه، به‌منظور تأمین هزینهٔ سرمایه‌گذاری در آبیاری قطره‌ای، برای کشاورزان به‌وسیله تغییر در درآمد خالص مزرعه، بیانگر تغییر در دریافتی کشاورز پس از کسر همهٔ هزینه‌های تولید، از جمله هزینه سرمایه‌گذاری برای تبدیل آبیاری غرقابی به قطره‌ای است. تغییر در درآمد خالص برای کل یک منطقه، به‌صورت افزایش درآمد خالص که نتیجهٔ افزایش یارانهٔ سرمایه‌گذاری برای آبیاری قطره‌ای است، درنظر گرفته می‌شود.

همان‌گونه که جدول ۵ نشان می‌دهد، با کاربرد فناوری آبیاری قطره‌ای به‌جای غرقابی، مجموع درآمد محصولات مزارعی که از تکنولوژی آبیاری غرقابی استفاده می‌کنند تحت سناریوهای پرداخت یارانه صددرصدی و عرضه آب نرمال، به دلیل کاهش سطح زیر کشت به‌میزان بسیار ناچیزی کاهش می‌یابد. اما، در عوض مجموع درآمد محصولات مزارعی که سیستم آبیاری را به قطره‌ای تغییر می‌دهند به‌میزان بسیار چشمگیری افزایش‌یافته و به ۴۶ درصد تحت سناریوی یارانهٔ صددرصدی و شرایط نرمال آب رسیده است که به دو دلیل عمده اتفاق افتاده است: نخست، به‌دلیل افزایش درآمد ناخالص (ارزش محصولات تولیدی) که به‌واسطه افزایش سطح زیر کشت کل محصولات و نیز افزایش عملکرد در واحد سطح اتفاق می‌افتد و دوم به‌دلیل کاهش هزینه‌های تولید که هم به‌واسطهٔ کاهش هزینه‌های بهره‌برداری ازجمله کاهش در هزینه نهاده‌های تولید مانند کود، نیروی کار و غیره است و هم ناشی از جبران هزینه‌های سیستم آبیاری قطره‌ای که از جانب پرداخت یارانه‌ها اتفاق می‌افتد.

در حالت تحویل حجمی نیز، افزایش یارانهٔ سرمایه‌گذاری از صفر به ۱۰۰ درصد، درآمد خالص محصولات تولیدی به‌وسیلهٔ آبیاری قطره‌ای، به‌ویژه شاهی، بِه و پیاز را تحت سناریوی عرضهٔ آب نرمال به‌ترتیب ۱۲۱، ۱۱۹ و ۷۱ درصد افزایش می‌دهد.

علت کاهش مجموع درآمد محصولات مزارعی که از فناوری آبیاری غرقابی بهره می‌گیرند، تحت سناریوهای پرداخت یارانه صددرصدی و عرضه آب نرمال به‌دلیل کاهش سطح زیر کشت به‌منظور بهره‌گیری از کشت محصولات با فناوری قطره‌ای است؛ اما در عوض مجموع درآمد محصولات مزارعی که سیستم آبیاری قطره‌ای را جایگزین می‌کنند به‌میزان بسیار قابل

جدول ۵. مقایسه میزان درآمد مزرعه در دو روش تخصیص آب به روش حجمی و غیر حجمی (هزار ریال)

تکنولوژی آبیاری	سناریو	غیر حجمی				حجمی				تغییرات درآمد			
		پرداخت یارانه (درصد)											
		۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
غرقابی	نرمال	۵۹۷۲۲۸/۸	۵۹۷۲۲۰/۱	۵۹۷۱۹۴/۱	۵۹۷۱۵۰/۶	۵۹۷۰۸۹/۸	۵۹۷۲۲۸/۸	۵۹۷۱۵۸/۸	۵۹۶۹۴۸/۸	۵۹۶۵۹۸/۸	۵۹۶۱۰۸/۷	۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۶
		۰	۰	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۲	۰	-۰/۰۱	-۰/۰۵	-۰/۱۱	-۰/۱۹					
	خشک	۵۷۸۴۶۰/۹	۵۷۷۶۸۷/۱	۵۷۶۸۹۵/۸	۵۷۶۰۸۷/۲	۵۷۵۲۶۱/۲	۵۸۰۲۸۸/۹	۵۷۸۱۶۹/۴	۵۷۵۹۰۹/۹	۵۷۳۵۱۰/۴	۵۷۰۹۷۰/۹	-۰/۳۲	-۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۴۵	۰/۷۵
		۰	-۰/۱۳	-۰/۷۷	-۰/۴۱	-۰/۵۵	۰	-۰/۳۷	-۰/۷۵	-۱/۱۷	-۱/۶۱					
قطره ای	نرمال	۱۳۶۴۳۷/۹	۱۵۰۷۵۲/۹	۱۶۶۰۳۵/۰	۱۸۲۲۸۴/۰	۱۹۹۵۰۰/۱	۱۳۶۴۳۷/۹	۱۵۰۷۳۸/۰	۱۶۵۹۷۵/۳	۱۸۲۱۴۹/۷	۱۹۹۲۶۱/۳	۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۱۲
		۰	۱۰/۴۹	۲۱/۶۹	۳۳/۶۰	۴۶/۲۲	۰	۱۰/۴۸	۲۱/۶۵	۳۳/۵۰	۴۶/۰۵					
	خشک	۱۳۶۱۲۱/۴	۱۵۰۴۲۲/۰	۱۶۵۶۸۹/۷	۱۸۱۹۲۴/۳	۱۹۹۱۲۶/۰	۱۳۳۲۰۵/۶	۱۴۷۰۶۴/۱	۱۶۱۸۵۹/۷	۱۷۷۵۹۲/۵	۱۹۴۲۶۲/۴	۲/۱۴	۲/۲۳	۲/۳۱	۲/۳۸	۲/۴۴
		۰	۱۰/۵۱	۲۱/۷۲	۳۳/۶۵	۴۶/۲۹	۰	۱۰/۴۰	۲۱/۵۱	۳۳/۳۲	۴۵/۸۴					
درآمد مزرعه	نرمال	۷۳۳۶۶۶/۷	۷۴۷۹۷۳/۱	۷۶۳۲۲۹/۰	۷۷۹۴۳۴/۶	۷۹۶۵۸۹/۸	۷۳۳۶۶۶/۷	۷۴۷۸۹۶/۸	۷۶۲۹۲۴/۱	۷۷۸۷۴۸/۵	۷۹۵۳۷۰/۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۵
		۰	۱/۹۵	۴/۰۳	۶/۲۴	۸/۵۸	۰	۱/۹۴	۳/۹۹	۶/۱۴	۸/۴۱					
	خشک	۷۱۴۵۸۲/۳	۷۲۸۱۰۹/۱	۷۴۲۵۸۵/۵	۷۵۸۰۱۱/۶	۷۷۴۳۸۷/۳	۷۶۷۳۹۴/۵	۷۲۵۲۳۳/۵	۷۳۷۷۶۹/۶	۷۵۱۱۰۲/۹	۷۶۵۲۳۳/۴	۰/۱۵	۰/۳۹	۰/۶۵	۰/۹۱	۱/۱۸
		۰	۱/۸۹	۳/۹۲	۶/۰۸	۸/۳۷	۰	۱/۶۵	۳/۴۰	۵/۲۷	۷/۲۵					

ملاحظه‌ای افزایش یافته و به ۴۶ درصد تحت سناریوی یارانهٔ صددرصدی و عرضه نرمال آب رسیده است.

از مقایسهٔ این میزان با افزایش ۴۶ درصد چنین برمی‌آید که در نظام تخصیص حجمی آب، با افزایش یارانه‌ها به ۱۰۰ درصد و تحت سناریوی عرضه آب نرمال، ضمن صرفه‌جویی ۲۳ درصد در آب کاربردی محصولات با تکنولوژی آبیاری قطره‌ای، مجموع درآمد محصولات تنها به‌میزان ۰/۱۷ درصد کمتر افزایش یافته است.

بحث و نتیجه‌گیری

مقایسه دو نظام تخصیص آب نشان داد که در نظام موجود تخصیص آب، همزمان با افزایش یارانهٔ آبیاری قطره‌ای، قیمت سایه‌ای آب افزایش می‌یابد؛ زیرا سود کشت محصولات با آبیاری قطره‌ای بیشتر از سود همان کشت با آبیاری غرقابی است. باوجود این افزایش، همچنان قیمت سایه‌ای در مقایسه با آب‌بها بسیار پایین است که نشان‌دهنده آن است که در نظام موجود، آب برای کشاورز عامل محدودکننده نیست و درنتیجه تمایل به پرداخت کمتری برای آن دارد. از سوی دیگر، ارزش آب در نظام تخصیص حجمیِ مبتنی بر آب مصرفی، بالاتر از نظام موجود تخصیص آب است؛ زیرا همزمان با افزایش عملکرد محصولات و به‌دنبال آن افزایش تبخیر و تعرق که ناشی از یارانه‌های افزایش راندمان آبیاری است، کشاورز اجازهٔ انجام هر اقدامی برای افزایش سود آبیاری قطره‌ای را تا زمانی دارد که تبخیر و تعرق کل محصولات افزایش نیابد.

با افزایش یارانه‌های آبیاری قطره‌ای، مقدار اراضی تحت آبیاری غرقابی کاهش می‌یابد تا سطوح زیر کشت آبیاری قطره‌ای افزایش یابد؛ اما از آنجا که در نظام موجود تخصیص، دیدگاه کشاورز آن است که نباید آب را بیشتر از مقدار پایه در زمین‌هایش به‌کار ببرد، درنتیجه افزایش سطح زیر کشت اراضی با تکنولوژی آبیاری قطره‌ای بسیار بیشتر از مقدار جبران شده به‌واسطهٔ کاهش در اراضی با تکنولوژی آبیاری غرقابی است که این خود نشان‌دهندهٔ افزایش سطح زیر کشت است. درواقع همزمان با افزایش یارانه‌ها، زمین‌های جدیدی زیر کشت می روند این نتایج، ادعای مطالعات گذشته در زمینهٔ استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی یکپارچه در سطح حوضه آبریز در خصوص آثار سیاست صرفه‌جویی در آب آبیاری بر حوضه را تأیید می‌کند (۳).

در نظام موجود تخصیص آب، با افزایش یارانهٔ سیستم آبیاری قطره‌ای، راندمان آب در سطح مزرعه افزایش یافته ولی در سطح منطقه کاهش می‌یابد. همچنین در شرایط خشکسالی سیاست پرداخت مشوق‌های یارانه‌ای به‌منظور تغییر تکنولوژی آبیاری از غرقابی به قطره‌ای برای مقابله با شرایط خشکسالی، اثربخش نیست. ولی، در نظام تخصیص آب به‌روش تحویل حجمی، بهره‌بردار با تغییر الگوی کشت و یا سیستم آبیاری، نمی‌تواند بیش از میزان آب تخصیص‌یافتهٔ خود، آب را مصرف کند. از آنجا که در سطح منطقه افزایش مصرف ناشی از افزایش یارانه، دقیقاً با کاهش مصرف ناشی از کاهش زمین‌های غرقابی جبران می‌شود، میزان کل آب مصرفی محصولات ثابت باقی می‌ماند. اما، به‌دلیل راندمان بالاتر آبیاری قطره‌ای نسبت به غرقابی، کل آب کاربردی محصولات به‌میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. بنابراین راندمان آبیاری هم در سطح مزرعه و هم در سطح منطقهٔ مورد مطالعه افزایش می‌یابد. پس در شرایط خشکسالی نیز سیاست پرداخت مشوق‌های یارانه‌ای به‌منظور تغییر تکنولوژی آبیاری از غرقابی به قطره‌ای برای مقابله با شرایط خشکسالی، باعث کاهش کاربرد آب و افزایش راندمان آب در کل منطقه می‌شود که این نتیجه‌گیری، با نتایج مطالعه صورت گرفته در حوضهٔ ریو گراندِ آمریکا درخصوص آثار تکنولوژی های نوین آبیاری در هنگام بروز خشکسالی مطابقت دارد (۲۳).

بنابراین، در طراحی سیاست‌های بهبود راندمان بسیار مهم است که بتوان بین آثار این سیاست‌ها بر آب مصرفی و آب کاربردی تمایز قائل شویم. در سطح یک مزرعه راندمان آبیاری به‌عنوان درصدی از آب کاربردی که به ناحیهٔ ریشه‌ای گیاه می رسد، اندک است. اما، در مقیاس وسیع‌تر در سطح منطقه، آبخوان و یا حوضه آبریز، همان راندمان پایین می‌تواند بسیار

بالا باشد. زیرا، بخش غیرمصرفی آب کاربردی می‌تواند در دسترس مصرف‌کنندگان دیگر قرار گیرد. این نتیجه‌گیری، یافته های پیشین در شمال شرق کلرادو در خصوص تأثیر اتخاذ سیاست‌های یارانه‌ای بر عوامل هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی را تأیید می‌کند (۲۱).

افزایش یارانه‌ها نقش مهمی در افزایش تولید محصولات غذایی و افزایش میزان ارزش این تولیدات ایفا می‌کند و می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان برای رسیدن به خودکفایی کمک کند؛ اما باید توجه داشت که در نظام موجود تخصیص آب، این میزان افزایش تنها با افزایش عملکرد در واحد سطح به‌دست نیامده است، بلکه، با افزایش سطح زیر کشت و به بهای افزایش میزان آب مصرفی به‌دست آمده و بعید است که در درازمدت و در همهٔ مناطق یک حوضه آبریز بتواند مدیران و برنامه‌ریزان را در نیل به امنیت غذایی یاری کند. تفاوت بسیار مهم میان آبیاری قطره‌ای و غرقابی در سطح مزرعه، هزینه و ریسک مرتبط با سرمایه‌گذاری در سیستم آبیاری قطره‌ای است؛ سیستم آبیاری قطره‌ای علاوه بر هزینه‌بر بودن، برای مونتاژ و حفاظت نیازمند شیوه‌های مدیریت تخصصی است. کشاورزانی که سیستم آبیاری را از غرقابی به قطره‌ای تغییر می‌دهند، هدفشان از این تغییر صرفه‌جویی در آب نیست، بلکه افزایش عملکرد و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری است؛ پس کشاورزان زمانی راغب به سرمایه‌گذاری در فناوری‌های مؤثر بر کاهش مصرف آب هستند که با هزینه‌های اقتصادی اندکی مواجه باشند و پرداخت یارانه باعث کاهش این هزینه‌ها و ریسک سرمایه‌گذاری مرتبط با آن باشد (۵). سؤال اینجاست که آیا در صورت تخصیص آب به‌روش تحویل حجمی، کشاورز همچنان راغب به تغییر سیستم آبیاری غرقابی به قطره‌ای هست؟ در اینجا ذکر دو نکته ضروری است: اول آنکه تحت نظام تخصیص مبتنی بر آب مصرفی، سطح زیر کشت و آب مصرفی کشاورز کمتر از مقدار موجود نمی‌شود؛ بنابراین نه‌تنها درآمد کشاورز کاهش نمی‌یابد؛ بلکه پرداخت مشوق‌های یارانه‌ای برای به‌کارگیری سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، علاوه بر کاهش آب کاربردی، می‌تواند از طریق افزایش عملکرد محصولات، کاهش استرس گیاهی، بهبود توزیع آب، افزایش کیفیت محصولات، کاهش هزینه‌های عملیات زراعی کاشت، داشت و برداشت و ایجاد پتانسیل برای افزایش درآمد مزارع، باعث ایجاد ثبات و کاهش ریسک درآمدی کشاورز شود. دوم آنکه نگاهی به قوانین مصوب به‌منظور پرداخت یارانه به سیستم‌های نوین آبیاری نشان می‌دهد که هدف و اولویت مدیران و برنامه‌ریزان از اجرای این سیاست‌ها، صرفه‌جویی آب در بخش کشاورزی بوده است و در پژوهش حاضر میزان تحقق این هدف مورد بررسی قرار گرفت (۱۴، ۱۵ و ۲۵).

با توجه به یافته‌های پژوهش، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- هدف مدل توسعه داده شده در این پژوهش، تنها بیشینه‌سازی منافع اقتصادی بود. با توجه به اهمیت محیط زیست، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی بیشینه کردن منافع زیست‌محیطی آب در تابع هدفِ مدل گنجانده شود. همچنین، منافع استفاده از آب در بخش شرب و صنعت نیز در مدل لحاظ شود.
- تخصیص حجمی آب متناسب با الگوی کشت، در شرایط خرد بودن اراضی، هزینه‌های اداری تخصیص آب را افزایش می‌دهد. بنابراین، این نحوه تخصیص آب نیازمند بررسی های بیشتر است.
- وضع مشوق‌های مالی به‌منظور پذیرش تکنولوژی‌های آبیاری قطره‌ای باید با مدیریت کنترل حجم آب مصرفی همراه شود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود روش‌های مختلف تخصیص و تحویل آب به کشاورزان نظیر: ایجاد و سازمان‌دهی تشکل‌های قانونی مناسب و نصب کنتورهای هوشمند آب و برق روی چاه، برای کنترل مصرف آب آبیاری متناسب با الگوی کشت مورد بررسی قرار گیرد.
- با توجه به حجم بالای تخصیص منابع عمومی کشور به اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار، پیشنهاد می‌شود که سیاست پرداخت یارانه‌ها به سیستم‌های نوین آبیاری در راستای پایداری منابع آب و امنیت غذایی کشور در برنامه هفتم توسعه مورد بازنگری قرار گیرد.

پیوست ۱

شرح مدل

مراحل مدل‌سازی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) در این تحقیق به این صورت است که ابتدا سود حداکثرسازی می‌شود تا دو پارامتر تابع عملکرد محصول که نشان‌دهنده بازده نزولی مصرف آب و زمین نسبت به مقیاس است برآورد و تعیین شود. موضوع اصلی برای ساختن این مدل‌ها افزایش اطمینان به آنها، با اجتناب از تفاوت بین موقعیت پایهٔ فعلی و موقعیت پایهٔ شبیه‌سازی و نیز بازسازی رفتار کشاورزان در محیط خاص و بر اساس داده‌های کمی که در فرایند تصمیم مزرعه موجود هستند. مدل‌های برنامه‌ریزی تولید مزرعه و استفاده از منابع (آب و زمین) باید با شرایط در سال پایه هماهنگ باشند تا بتوانند شرایط موجود را شبیه‌سازی کنند. تحلیل سیاستِ مبتنی بر مدلی که نتواند شرایط پایه را بازتولید کند و به‌عبارتی بین نتایج مدل در دوره پایه و نتایج واقعی اختلاف باشد فاقد اعتبار است. استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) به ما اجازه می‌دهد تا بر اساس داده‌های مشاهده شده در سطح مزرعه، واکنش‌های رفتاری کشاورز نسبت به تغییر سیاست را پیش‌بینی کنیم. در این روش با استفاده از بهینه‌سازی غیرمقیدِ داده‌های مشاهده شده، سود حداکثر سازی می‌شود و سپس پارامترهای تابع درجه دوم، برآورد و تعیین می‌شود و شرایط پایه (موجود) بازتولید می‌شود.

یکی از دلایل مهم غیرخطی بودن تابع تولید کشاورز، غیریکنواخت بودن کیفیت زمین است. درنتیجه، با افزایش سطح زیر کشت یک محصول مشخص، عملکرد کل سطوح زیر کشت کاهش می‌یابد. باوجود اینکه درنظر گرفتن کاهش کیفیت زمین زیر کشت محصولی خاص در یک منطقهٔ وسیع، به‌عنوان دلیل کاهش عملکرد، دیگر دلایل کاهش عملکرد را ساده‌سازی می‌کند، اما مدل می‌تواند واکنش‌های رفتاری کشاورز را شبیه‌سازی کند.

تولید

یک تابع عملکرد محصول که در برابر افزایش زمین در تولید برای هر محصول معین، بازده نزولی دارد مشخص شد. بازده نزولی نسبت به مقیاس از درنظر گرفتن آبیاری تنها به یک روش (آبیاری غرقابی یا قطره‌ای) در سطح یک منطقه جلوگیری می‌کند. در یک مزرعه ممکن است برای یک محصول تنها از یک نوع تکنولوژی آبیاری استفاده شود اما در سطح یک منطقه، آبیاری تنها به یک روش نادر است. علاوه بر این، معمولاً اطلاعات موجود نشان می‌دهد نسبت استفاده آب به زمین برای هر تکنولوژی آبیاری، هر محصول و مکان معین، ثابت است. معمولاً برای هر مکان، محصول و تکنولوژی آبیاری مشخص، داده‌های مربوط به عملکرد محصول در ازای مقدار مشخصی آب و دیگر نهاده‌ها وجود دارد. این مقادیر تنها یک نقطه در تابع تولید هستند. تابع تولید محصولات آبی در زیر نشان داده شده که بر اساس آن، عملکرد هر محصول با افزایش سطح زیر کشت آن محصول بازده نزولی دارد. بازده نزولی به ازای افزایش مقدار تولید، نشان‌دهندهٔ قاعدهٔ رانت رادیکاردو است که در آن بهترین زمین‌ها برای کاشت هر محصول ابتدا استفاده می شود بعد از آن عملکرد به‌واسطهٔ استفاده از زمین‌هایی با مرغوبیت کمتر برای تولید، کاهش می‌یابد. در اینجا از تابع تولیدی استفاده شد که در آن عملکرد محصولات با افزایش سطح زیر کشت کاهش می‌یابد:

$$Yield = B_0 + B_1 * Land \qquad (۱)$$

که در آن B_0 عملکرد محصول برای اولین واحد در زمین برای تولید است و B_1 اثر نهایی یک واحد زمین اضافی بر متوسط عملکرد و yield عملکرد است.

برای هر محصول مشخص، نسبت آب به زمینِ در تولید، یک ضریب ثابت است که نسبت مصرف آب در واحد زمین نامیده می‌شود (B_W). کل آب مصرف شده برای یک محصول مشخص برابر است با کل زمین در تولید ضرب در نیاز آبی گیاه در هر واحد زمین؛ بنابراین زمین به‌عنوان متغیر وابسته عبارت است از:

$$Land = \frac{Water}{Bw} \qquad (۲)$$

در معادلهٔ ۲ کل زمین کاشته شده برای یک محصول مشخص (Land)، مقدار کل آب مورد نیاز برای آبیاری محصول

(Water) تقسیم بر نیاز آبی گیاه در هر واحد زمین (B_W) است. جایگزینی معادلهٔ ۲ در معادلهٔ ۱ بیان می‌کند که عملکرد تابعی از کل آب به‌کار برده شده در سطح منطقه است:

$$Yeild = B_0 + \left[\frac{B_1}{Bw}\right] * Water \qquad (۳)$$

درآمد مزرعه

بر اساس تابع عملکرد که در بالا آمده است، سود کل (Π) برابر است با قیمت محصول منهای تمام هزینه‌های متغیر (از جمله هزینهٔ آب) در هر واحد سطح:

$$\Pi = (P * Yield - C) * Land - (Pw * Water) \qquad (۴)$$

که در آن P قیمت محصول، B_W قیمت آب و C هزینه‌های تولید به‌جز آب، در هر واحد زمین است. عملکرد ضرب در سطح زیر کشت محصول، تابع تولید محصول است.

کل سود منطقه‌ای مزارع که ناشی از مصرف تمام آب برای محصولات است می‌تواند به‌صورت زیر بیان شود:

$$\Pi = \frac{\left[P * \left(B_0 + \frac{B_1 * Water}{Bw}\right) - C\right] * Water}{Bw} - (Pw * Water) \qquad (۵)$$

به‌استثنای B_0 و B_1 بقیهٔ پارامترها از منطقهٔ مورد مطالعه قابل مشاهده هستند. معادلهٔ ۵ کل سود منطقه‌ای را از منظر آب مصرفی محصولات (ET) بیان می‌کند. حداکثرسازی کل منافع در منطقه، نیازمند اضافه کردن آب مصرفی و زمین مورد نیاز محصول تا شرایطی است که درآمدهای یک واحدِ اضافی، بیش از هزینه‌های آن باشد. درجایی که نیاز آبی برای هر محصول در هر واحد زمین ثابت است، با مشتق‌گیری سود مزارع (معادله ۵) نسبت به یک واحد آب بیشتر سود حداکثر می‌شود:

$$\Pi = \frac{\left[P * \left(B_0 + \frac{B_1 * Water}{Bw}\right) - C\right] * Water}{Bw} - (Pw * Water) \qquad (۶)$$

معادله ۶ یکی از نظریه‌های اقتصاد خرد را بیان می‌کند در سطح منطقه‌ای، حداکثرسازی درآمد مزرعه نیازمند افزایش مصرف آب آبیاری به نقطه‌ای است که در آن قیمت آب برابر ارزش تولید نهایی ناشی از یک واحد آب بیشتر باشد. معادله ۶ نشان می‌دهد که قیمت بالاتر یا کمبود بیشتر آب منجر به انواع سیاست‌های صرفه‌جویی در آب می‌شود.

برآورد پارامترها

معادله ۱ رابطهٔ بین B_0 و B_1، دو مجهولی که در معادله ۶ به‌کار رفته است را نشان می‌دهد. بقیه متغیرها معلوم هستند و می‌تواند از روی رفتارهای فعلی آبیاری اندازه‌گیری شود. معادله ۶ شامل آب به‌کار رفته در تولید، ضریب مصرف آب B_W، قیمت محصول P و آب‌بها P_W است. اولین واحد زمین مورد استفاده بالاترین عملکرد را داراست. درحالی که زمین‌هایی که در حال حاضر در آن کشت نمی‌شود می‌تواند عملکرد پایین‌تری داشته باشند؛ بنابراین B_0 (عملکرد بهترین زمین‌ها) باید بالاتر از عملکرد مشاهده شدهٔ موجود برای هر محصول و تکنولوژی آبیاری باشد. انتظار می‌رود که B_1 منفی باشد که این منعکس کننده کاهش عملکرد به‌واسطهٔ افزایش زمین در تولید است. دو پارامترِ B_0 و B_1 تابع عملکرد برآورد می‌شود تا با استفاده از آن رفتار مشاهده شده را بازتولید کند. معادلهٔ ۶ می‌تواند برای به دست آوردن B_1 که غیرقابل مشاهده است به‌صورت زیر حل شود:

$$B_1 = \frac{Bw*(Pw*Bw - P*Yield + C)}{P*Water} = \frac{\text{درآمد متوسط در هر واحد زمین}}{P*Land} \qquad (۷)$$

B_1 در معادله ۷ کاهش در میانگین عملکرد محصولات به‌ازای افزایش هر واحد زمین در تولید است؛ بنابراین کاهش عملکرد نهایی در زمین‌های جدید برابر مقدار B_1 است. عملکرد محصول برای اولین واحد از زمین در تولید (B_0) می‌تواند به‌واسطهٔ دانستن مقدار B_1 که از معادلهٔ ۷ به‌دست آمده و جایگزینی آن دو معادلهٔ ۱ به‌دست آید:

$$B_0 = Yield - B_1 * Land \qquad (۸)$$

با استفاده از B_0 و B1، طیف گسترده‌ای از عملکردها به‌واسطهٔ بهینه‌سازی‌های درآمد منطقه تحت سیاست‌های آینده و

سناریوهای هیدرولوژیکی ایجاد می‌شود. یک مزیت مهم روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) این است که زمانی دو پارامتر B_0 و B_1 برآورد می‌شوند، دوباره در معادلهٔ (۱) جایگزین می‌شوند و زمانی که جایگزینی دوباره اتفاق می‌افتد، درآمد خالص که به‌وسیلهٔ معادلهٔ (۴) تعریف شده است یک تابع درجه دوم است. با استفاده از این تابع درجه دو، یک حداکثرسازی نامقید که نشان‌دهندهٔ هدف تولید کننده است اتفاق می‌افتد که با داده‌های مشاهده شدهٔ درآمد خالص، عملکرد محصول، زمین در تولید و تکنولوژی آبیاری مطابقت می‌کند. مدل فوق مبتنی بر ترکیب داده‌های مشاهده شده با تئوری‌های بنیادی اقتصادی است که می‌تواند آنها را تولید کند و این زمانی اتفاق می‌افتد که پارامترهای B_0 و B_1 برآورد شود. مدل بهینه‌سازی نامقید با استفاده از پارامترهای B_0 و B_1، داده‌های مشاهده شدهٔ استفاده از زمین، آب مصرفی و درآمد را بازتولید می‌کند.

بنابراین روندی که در بالا توضیح داده شد از سه مرحلهٔ زیر پیروی می‌کند:

مشاهده: سنجش پارامترها شامل، اندازه‌گیری‌ها، میانگین عملکرد محصول، متوسط درآمد، میانگین زمین در تولید و آب مصرفی برای هر محصول و تکنولوژی آبیاری مورد استفاده.

تئوری: اگر کشاورزان درآمد ناخالص را با استفاده از تابع هدف درجه دومی که در بالا شرح داده شد حداکثر کردند، آنها از آب تا نقطه‌ای استفاده می‌کنند که ارزش نهایی تولید یک مترمکعب آب برابر آب‌بها شود.

بازتولید رفتار مشاهده شده: پارامترهای B_0 و B_1، برای تابع تولید به‌کار رفته‌اند. کل درآمد منطقه بر اساس تابع کالیبره شدهٔ عملکرد، حداکثرسازی شده است.

کاربرد برای منطقه مورد مطالعه

مدل بهینه‌سازی درآمد مزرعه که در بالا شرح داده شد برای مشخص شدن مقدار آب مصرفی و آب کاربردی برای محصولات در منطقه مورد مطالعه که در آبخوان نجف‌آباد قرار گرفته استفاده شد. داده‌های هزینه و درآمد محصول، مصرف آب و سطوح زیر کشت برای تولیدات عمده منطقه شامل، گندم، جو، سیب‌زمینی، تربچه، شاهی، ریحان، پیاز، خیار، فلفل، به و هلو جمع‌آوری شد.

ما با استفاده از مدل، پارامترهای مورد نیاز برای تابع عملکرد محصول که بازتولید کنندهٔ رفتار مشاهده شده کشاورز برای هر محصول و هر تکنولوژی آبیاری است را برآورد کردیم. سناریوهای آیندهٔ عرضه آب مبتنی بر سناریوی خشکسالی است که در آن منابع آب به ۸۰ درصد سطح نرمال محدود می‌شوند. نتایج معادلات (۱) تا (۸) برای انجام تحلیل سیاست پرداخت یارانه به سیستم آبیاری قطره‌ای تحت دیگر شرایط عرضهٔ آب استفاده می‌شود.

تحلیل نیازمند مشخص کردن تمایز بین داده‌های مشاهده شده (پارامتر) و داده‌های مجهول (متغییرها) است. همان‌طور که از معادلات بالا مشخص است B_0 و B_1 مجهول هستند اما محاسبه می‌شوند. بقیهٔ موارد در معادلات (۱) تا (۸) داده‌های مشاهده شده هستند.

ما در زیر از یک نماد برای مشخص کردن تغییرهای درون‌زا (مجهول) (V_) و از یک نماد برای مشخص کردن تمام پارامترها (داده‌های معلوم) (P–) استفاده کردیم. در مورد اندیس‌ها، S اشاره به سناریوی عرضهٔ آب عرضهٔ ۱۰۰ یا ۸۰ درصد دارد. اندیس (P) در پایان هر پارامتر یا متغیر به میزان یارانهٔ آبیاری قطره‌ای که به‌صورت درصد ۰، ۲۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ در نظر گرفته شده اشاره دارد. اندیس (j) به محصولات عمده‌ای که در منطقه کشت می‌شود اشاره می‌کند. اندیس (k) به تکنولوژی آبیاری قطره‌ای یا غرقابی اشاره دارد. در این مقاله بین آب به‌کار برده شده و آب مصرفی تمایز قائل شدیم. آب به‌کار برده شده مجموع آب برای محصولات و فنّاوری‌های آبیاری و زمین در تولید و در زمان کشت است.

$$Watapply_V_{ps}=\sum_{j}\sum_{k} Land_vjkps*Bwa_pjk \qquad (۹)$$

که در آن Bwa_P آب به‌کار برده شده در هر واحد زمین و Land_v زمین تحت آبیاری است. آب مصرفی کل (تبخیر و تعرق محصول) از مجموع حاصل‌ضرب سطح زیر کشت در آب مصرفی (نیاز آبی گیاه) برای هر واحد زمین برای همهٔ

محصولات و فنّاوری‌های تولید به‌دست می‌آید.

$$Watdep_V_{ps} = \sum_j \sum_k Land_vjkps * Bwe_pjk \qquad (۱۰)$$

که در آن B_{We_P} تبخیر و تعرق (ET) در هر واحد زمین است. عملکرد برای هر محصول و هر تکنولوژی تولید، می‌تواند با تغییر سناریوهای سیاستی و هیدرولوژیکی تغییر کند.

پارامترهای عملکرد محصول B_0 و B_1 که در بالا تشریح شد با استفاده از روشی که در معادلات (۷) و (۸) نشان داده شد، در معادلهٔ زیر به‌کار رفته است. یک زوج پارامتر عملکرد برای هر محصول (j) و هر تکنولوژی آبیاری (k) محاسبه شده است. عملکرد محصولات برای تکنولوژی‌ها و محصولات منطقه این‌گونه محاسبه می‌شود:

$$Yield_V_{jkps} = B0_P_{jk} + B1_P_{jk} * Land_V_{jkps} \qquad (۱۱)$$

که در آن B_{0_P} و B_{1_P} پارامترهایی هستند که با استفاده از معادلهٔ ۷ و ۸ محاسبه شده‌اند. معادلهٔ (۱۱) با استفاده از معادلهٔ (۱) برای هر محصول تکنولوژی، سیاست و سناریو اجرا می‌شود. متغیر Land_v درون‌زا است، بنابراین عملکرد محصول تا زمانی که مدل، بهینه‌سازی انجام دهد برای سناریوها و سیاست‌های غیر از حالت پایه، نامعلوم است.

درآمد خالص در هر واحد زمین تحت تأثیر عملکرد است. قیمت محصول P_P و هزینه تولید محصول C_P در هر جریب برای هر سناریو و هر سیاست ثابت هستند اما عملکرد به‌دلیل شاخصی که در معادلهٔ (۱۱) نشان داده شد تغییر می‌کند؛ بنابراین درآمد خالص برای هر واحد زمین این‌گونه تعریف می‌شود:

$$Netrev_V_{jkps} = P_{pj} * Yield_V_{jkps} - C_pjk \qquad (۱۲)$$

که در آن هزینهٔ کل در هر واحد زمین C_P شامل هزینه‌های تولید آب و غیر از آب می‌شود. C_P، کل هزینه تولید در واحد زمین، شامل هزینهٔ آب است که در معادلهٔ ۷ به‌صورت جمع $P_W * B_w$ و C آمده است. درنهایت، کل سود مزارع به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Pi_v_{ps} = \sum_j \sum_k Land_vjkps * Netrev_V_{jkps} \qquad (۱۳)$$

سود کل مزرعه یک متغیر درون‌زا است که مدل آن را بهینه می کند و مجموع حاصل‌ضرب برای هر واحد زمین در سطح زیر کشت برای همهٔ محصولات و همهٔ تکنولوژی‌های آبیاری است. در سناریوی شرایط فعلی تخصیص، آب کاربردی سطح پایه‌ای را برای هر میزان از یارانهٔ آبیاری قطره‌ای محدود می‌کند و در سناریوی تخصیص آب به‌روش تحویل حجمی، آب مصرفی سطح پایه‌ای را برای هر میزان از یارانهٔ آبیاری قطره‌ای محدود می‌کند.

بعد از کالیبراسیون، مدل بهینه یابیِ پایه، داده‌های مشاهده شده را بدون محدودیت (نامقید) بازتولید می‌کند. بنابراین، برای سیاست‌های یارانه‌ای پیشنهادی (یارانهٔ بیشتر از صفر برای آبیاری قطره‌ای) یا سناریوهای عرضه آب (نرمال و خشکسالی)، آب کاربردی (سناریوی شرایط فعلی تخصیص آب) و آب مصرفی (سناریوی تحویل حجمی) به این صورت که نباید از میزان پایه بیشتر شوند محدود شده‌اند:

$$Watdep_Vps < Watdep_V_{ps} = \sum_j \sum_k Land_vjkps * Bwe_pjk \qquad (۱۴)$$

$$Watapply_Vps < Watapply_V_{ps} = \sum_j \sum_k Land_vjkps * Bwa_pjk \qquad (۱۵)$$

Watsupply_p برای سناریوی عرضهٔ کامل مقدار یک می‌گیرد و برای سناریوی خشکسالی مقدار ۰/۸۰ می‌گیرد. Land_P زمین‌های مشاهده شدهٔ تحت آبیاری در زمان انجام تحلیل است. مدل کامل می‌تواند کل سود مزارع منطقه را که از معادلهٔ ۱۳ به‌دست می‌آید مشروط به سناریوهای تخصیص آب که در معادله‌های ۱۴ و ۱۵ تعریف شده‌اند، حداکثر کند. این معادله درجه دوم، زمین در تولید را به‌وسیلهٔ محصولات و تکنولوژی های آبیاری و بر اساس منابع آب قابل استحصال منطقه‌ای بهینه می‌کند.

داده‌های مورد نیاز

با استفاده از مدل شرح داده شده، اثربخشی سیاست‌های صرفه‌جویی در آب آبیاری در دو حالت وجود و عدم وجود یارانه‌های صرفه‌جویی برای تبدیل آبیاری غرقابی به قطره‌ای

ارزیابی شد. برای دستیابی به این هدف تحلیل مالی هزینه‌ها و درآمد تولید محصولات کشاورزی در روش آبیاری قطره‌ای در مقایسه با آبیاری غرقابی انجام شد. بودجه‌بندی شامل اطلاعات مالی محصولاتی است که به‌واسطه آبیاری غرقابی تولید می‌شود که شامل اطلاعات سطوح زیر کشت، تجهیزات، فرایندهای تولید محصولات و هزینه‌ها و درآمد خالص است.

داده‌هایی که برای بودجه‌بندی آبیاری قطره‌ای جمع‌آوری شده شامل داده‌های عملکرد، آب مصرفی، نیروی کار مورد نیاز، درصد زمین‌هایی که آبیاری قطره‌ای در آن اجرا شده، تجهیزات مورد نیاز و هزینه‌های نصب سیستم بود که همگی بر اساس جریب جمع‌آوری شد. تفاوت مهمی که میان آبیاری قطره‌ای و غرقابی وجود دارد هزینه و ریسک سرمایه‌گذاری در آبیاری قطره‌ای است. تکنولوژی آبیاری قطره‌ای گران است و نیازمند شیوه‌های مدیریتی تخصصی است. بودجه‌بندی آبیاری قطره‌ای که در این پژوهش توسعه داده شد، منعکس کننده تفاوت در تجهیزات، نهاده‌ها، نیروی کار مورد نیاز و صرفه‌جویی در آب به‌کار برده شده است. رویکرد بودجه‌بندی، تصمیم‌گیری اقتصادی در سطح مزرعه را با یک مدل منطقه‌ای به‌صورت سیستماتیک تلفیق می‌کند.

هزینه نصب و راه‌اندازی سیستم آبیاری قطره‌ای بر اساس هزینهٔ کل سیستم، عمر سیستم، هزینه فرصت سرمایه محاسبه می‌شود. هزینه نصب و راه‌اندازی سیستم آبیاری قطره‌ای با توجه به‌اندازهٔ سطحی که در آن نصب می‌شود متفاوت است. به این ترتیب که هر چه مساحت بیشتر باشد، هزینه نصب به‌ازای هر هکتار کاهش می‌یابد. در این تحقیق، این هزینه به‌طور میانگین ۲۰۰ میلیون ریال و عمر مورد انتظار ۱۰ سال و با نرخ بهره ۱۸ درصد درنظر گرفته شد. استهلاک تولید و هزینه فرصت سرمایه، پرداخت سالانه‌ای است که بر اساس عمر سیستم، کل هزینهٔ سرمایه‌گذاری، نرخ بهره و ارزش اسقاط تعیین می‌شود و با استفاده از فرمول زیر محاسبه شده است:

= معادل سالانه پرداختی استهلاک و هزینه فرصت سرمایه

$$TD\left(\frac{i}{1-(1+i)^{-t}}\right)+SV*i$$

(i) نرخ بهره که ۱۸ درصد، (t) عمر سیستم برابر ۱۰ سال و (SV) ارزش اسقاط پس از پایان دورهٔ ۱۰ ساله است که ۱۰ درصد هزینهٔ سرمایهٔ مورد نیاز برای سیستم آبیاری قطره‌ای بدون یارانه در هر هکتار لحاظ شد و (TD) کل استهلاک در طول دوره است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$TD = P- SV$$

که در آن (P) هزینهٔ سرمایهٔ اولیه مورد نیاز برای سیستم آبیاری قطره‌ای بدون درنظر گرفتن یارانه در هر هکتار است.

منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. 2001. National Project on Water Conservation Optimization in Iran, Ministry of Energy, Ministry of Agriculture Jahad and Iranian Meteorological Organization (in Farsi).
2. Anonymous. 2016. Iran's Sixth Five-Year Development Plan. Plan and Budget Organization of Iran: Iran (In Farsi).
3. Brinegar, H. and F. Ward. 2009. Basin impacts of irrigation water conservation policy. *Ecological Economics* 69(2): 414-426.
4. Caswell, M., E. Lichtenberg and D. Zilberman. 1990. The effects of pricing policies on water conservation and drainage. *American Journal of Agricultural Economics* 72(4): 883-890.
5. Dagnino, M. and F. Ward. 2012. Economics of agricultural water conservation: empirical analysis and policy implications. *International Journal of Water Resources Development* 28(4): 577-600.
6. Darzi, F., H. Safavi, R. Bahreini and GH. Mamen Poosh. 2006. Modeling the Return Flow from the Nekouabad Irrigation Network to the Najafabad Plain Aquifer, Second Water Resources Management Conference. Iranian Association of Water Resources Engineering and Engineering (In Farsi).
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2000. Aquastat.
8. Gohar, A. A., A. Cashman and F. A. Ward. 2019. Managing food and water security in Small Island States: New evidence from economic modelling of climate stressed groundwater resources. *Journal of Hydrology* 569: 239-251.
9. Habteyes, B. G. and F. A. Ward. 2020. Economics of irrigation water conservation: Dynamic optimization for

consumption and investment. *Journal of Environmental Management* 258: 110040.
10. Hartman, L. and D. Seastone. 1965. Efficiency criteria for market transfers of water. *Water Resources Research* 1(2): 165-171.
11. Huffaker, R. and N. Whittlesey. 2000. The allocative efficiency and conservation potential of water laws encouraging investments in on-farm irrigation technology. *Agricultural Economics* 24(1): 47-60.
12. Huffaker, R. and N. Whittlesey. 2003. A theoretical analysis of economic incentive policies encouraging agricultural water conservation. *International Journal of Water Resources Development* 19- 1:37-53.
13. Isfahan Agricultural Jahad Organization. 2014. Cost Estimation of Major Crop Production, Statistics and Information Technology Office, Agricultural Jahad Organization, Isfahan (in Farsi).
14. Islamic Consultative Assembly. 2005. Law of the Fifth Economic, Social and Cultural Development Plan of the Islamic Republic of Iran. (in Farsi).
15. Islamic Consultative Assembly. 2010. Law on assignment of water wells without a license. (in Farsi).
16. Loucks, D. 2000. Sustainable water resources management. Water international 25- 1:3-10.
17. Mirab Zayandehrood Operating Company. 2015. Information on water distribution in p19 channel from the right network of Necoabad. (in Farsi).
18. Pérez-Blanco, C. D., A. Hrast-Essenfelder and C. Perry. 2020. Irrigation technology and water conservation: A review of the theory and evidence. *Review of Environmental Economics and Policy* 14(2): 216-239.
19. Radmehr, R., M. Ghorbani and S. Kulshreshtha. 2020. Selecting Strategic Policy for Irrigation Water Management (Case Study: Qazvin Plain, Iran). *Journal of Agricultural Science & Technology* 22(2): 579-593.
20. Scheierling, S. M., R. A. Young and G. E. Cardon. 2004. Determining the price-responsiveness of demands for irrigation water deliveries versus consumptive use. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 328-345.
21. Scheierling, S. M., R. A. Young and G. E. Cardon. 2006. Public subsidies for water-conserving irrigation investments: Hydrologic, agronomic, and economic assessment. *Water Resources Research* 42, W03428, doi:10.1029/2004WR003809.
22. Statistical Center of Iran. 2014. Agricultural product sales prices and Cost of agricultural services in rural areas of the country, Statistical Survey Report (in Farsi).
23. Ward, F. A. 2014. Economic impacts on irrigated agriculture of water conservation programs in drought. *Journal of Hydrology* 508: 114-127.
24. Ward, F. A. 2008. Pulido-Velazquez M. Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(47): 18215-18220.
25. Wu, J., H. P. Mapp Jr and D. J. Bernardo. 1994. A dynamic analysis of the impact of water quality policies on irrigation investment and crop choice decisions. *Journal of Agricultural and Applied Economics* 26(1379-2016-113328): 506-525.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 26, No. 4, Winter 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Impact of Subsidy Policy on the Drip Irrigation Systems under Non-Volumetric and Volumetric Water Allocation in the Najafabad Aquifer

A. Yousefi[1*], M. Malekizadeh[1], A. R. Nikouie[2] and M. S. Ebrahimi[1]

(Received: January 4-2020; Accepted: January 16-2021)

Abstract

This study determines the amount of irrigation water saved as a result of the subsidy policy to adapt from flood to drip irrigation. We developed a positive mathematical programming model (PMP) to evaluate the effect of economic incentives on farmers' decisions to choose the type of irrigation technology, cropping pattern, and "water use" and "water consumption" in rural Garkan Shomali district, which is part of the Najafabad aquifer. We collected data through farm surveys, desk research, and expert interviews. The results showed that a reduction in the financial costs of converting flood irrigation into drip irrigation can lead to farmers investing in this technology. In the current water allocation scenario, the subsidy policy increases the water consumption of drip-irrigated crops by 28%, of which 19% is non-consumed water before subsidy payment and the rest is related to the reduction of furrow-irrigated lands. Also, under non-volumetric water delivery conditions, the operating costs reduce and the net income of the farms increases because of the increase in efficiency and the development of the area under cultivation, which increases water consumption while the water use is constant. In the volumetric water delivery scenario, with the increase in subsidies, the net income of the farms will increase without developing the area under cultivation and only because of the increased yield. Therefore, subsidy policy increases irrigation efficiency at both the farm and regional levels and is an effective tool for dealing with drought conditions.

Keywords: subsidy, drip irrigation, water use, water consumption, volumetric water allocation, positive mathematical programming model.

1. Department of Rural Development, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Economic, Social and Extension Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.
*: Corresponding author, Email: ayousefi@iut.ac.ir